

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Beton adalah campuran antara semen portland, agregat, air, dan terkadang ditambahi dengan menggunakan bahan tambah yang bervariasi mulai dari bahan tambah kimia, serta sampai dengan bahan bangunan non-kimia pada perbandingan tertentu (Tjokrodimuljo, 2007). Menurut Mulyono (2004), beton adalah sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentukannya seperti semen hidrolis (*Portland Cement*), agregat halus, agregat kasar, air dan bahan tambah.

Beton segar yang baik adalah beton segar yang dapat diaduk, diangkat, dituang, dan dipadatkan, tidak ada kecenderungan terjadi pemisahan agregat dari adukan (*segregation*) maupun pemisahan air dan semen dari adukan (*bleeding*). Hal ini karena *segregation* ataupun *bleeding* mengakibatkan beton keras yang diperoleh akan berkualitas buruk (Tjokrodimuljo, 2007).

Beton segar mudah dibentuk sesuai dengan yang diinginkan, sedangkan beton yang sudah dalam keadaan mengeras mempunyai nilai kuat tekan yang tinggi. Dalam keadaan segar beton mudah dibentuk dan sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu beton juga tahan terhadap korosi. Secara umum kelebihan dan kekurangan beton sebagai berikut (Mulyono, 2004):

1. Kelebihan beton

- a. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.

- b. Mampu memikul beban yang berat.
 - c. Tahan terhadap temperatur yang tinggi.
 - d. Biaya pemeliharaan yang kecil.
2. Kekurangan beton
- a. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.
 - b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
 - c. Berat.
 - d. Daya pantul suara besar.

Mutu beton pada zaman sekarang semakin diinginkan tinggi. Sehingga kebutuhan bahan tambah beton untuk membuat beton mutu tinggi semakin meningkat. Dikarenakan bahan tambah untuk membuat beton mutu tinggi sangat mahal, banyak orang yang mencari bahan penggantinya. Oleh karena itu dicoba penambahan metakolin sebagai bahan pengganti yang ditambahkan terhadap berat semen.

Beton mutu tinggi adalah suatu bahan yang dibuat dari campuran beton (semen, agregat, air) dan penambahan zat aditif sesuai dengan perbandingan sedemikian rupa sehingga bahan itu merupakan satu kesatuan yang dapat membentuk kekuatan beton yang lebih tinggi. Upaya untuk mendapatkan beton mutu tinggi yaitu dengan meningkatkan mutu material pembentuknya, misalnya kekerasan agregat, kehalusan butir semen, dan dengan pemberian bahan tambah. Menurut SNI 03-6468-2000 beton mutu tinggi merupakan beton yang memiliki kekuatan tekan di atas 41,4 Mpa.

2.2. Bahan Penyusun Beton

Beton adalah suatu elemen struktur yang memiliki karakteristik yang terdiri dari beberapa bahan penyusun seperti berikut :

2.2.1. Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan untuk mengatur awal ikatan semen.

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lainnya (SNI-15-2049-2004).

Semen dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan penggunaannya. Jenis semen berdasarkan kegunaannya adalah sebagai berikut:

1. Jenis I, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada semen jenis lain, aplikasi pada bangunan umum (rumah, gedung, jembatan, pasangan batu/bata).
2. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan terhadap sulfat dan kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.

4. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi yang rendah.
5. Jenis V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi terhadap sulfat (SNI-15-2049-2004).

Bahan-bahan dasar semen portland terdiri dari bahan-bahan yang mengandung unsur kimia sebagaimana tercantum pada tabel 2.1 seperti di bawah ini.

Tabel 2.1. Susunan unsur semen portland

Unsur	Komposisi (%)
Kapur (CaO)	60-65
Silika (SiO ₂)	17-25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3.0-8.0
Besi (Fe ₂ O ₃)	0.5-6.0
Magnesia (MgO)	0.5-4.0
Sulfur (SO ₃)	1.0-2.0
Soda/potash (Na ₂ O+K ₂ O)	0.5-1.0

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007

2.2.2. Air

Air merupakan bahan dasar pembentuk beton yang penting namun harganya paling murah. Air dibutuhkan untuk kelangsungan reaksi semen (tanpa air, semen tidak dapat bereaksi mengeras) serta menjadi pelumas antara butir-butir agregat agar adukan beton mudah dikerjakan dan dipadatkan.

Penggunaan air dalam pembuatan beton selain untuk menjamin kelangsungan reaksi hidrasi semen juga diperlukan untuk perawatan beton keras.

Air mempengaruhi sifat beton yaitu sifat *workability* adukan, susut, dan keawetan beton.

Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 25%-30% dari berat semen, namun dalam kenyataannya jika nilai faktor air semen kurang dari 0,35 maka adukan beton akan sulit dikerjakan. Akan tetapi jumlah air untuk pelicin pada adukan beton tidak boleh terlalu banyak karena dapat mempengaruhi beton setelah mengeras yaitu beton akan porous sehingga kekuatannya akan rendah (Tjokrodimuljo, 2007).

Air untuk campuran beton minimal yang memenuhi persyaratan air minum, akan tetapi bukan berarti air untuk campuran beton harus memenuhi standar air minum. Penggunaan air sebagai bahan campuran beton sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut (Tjokrodimuljo, 2007):

- a. Air harus bersih.
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter.
- c. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton, asam, zat organik lebih dari 15 gram/liter.
- d. Tidak mengandung klorida atau $Cl > 0,5$ gram/liter.
- e. Tidak mengandung senyawa sulfat > 1 gram/liter.

2.2.3. Agregat

Agregat merupakan bahan susun beton yang persentasenya paling banyak yaitu sebesar 70% dari volume mortar atau beton. Agregat juga mempengaruhi sifat-sifat beton yang dihasilkan. Tujuan dalam pemakaian agrgat dalam adukan

beton adalah untuk penghematan penggunaan semen portland (menyebabkan beton menjadi lebih murah). Menghasilkan kekuatan besar pada betonnya, mengurangi terjadinya susut pengerasan, mencapai ukuran pampat beton, *workability* yang baik.

Cara membedakan jenis agregat yang sering dilakukan dengan didasarkan pada ukuran butirnya. Agregat yang mempunyai ukuran butir besar disebut agregat kasar dan agregat yang berbutir halus disebut agregat halus. Dalam pelaksanaan dilapangan, umumnya agregat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu :

- a. Batu, untuk ukuran butir lebih dari 40 mm.
- b. Kerikil, untuk ukuran butir antar 5 mm–40 mm.
- c. Pasir, untuk ukuran butir antar 0,15 mm–5 mm.

Untuk mendapatkan beton yang baik diperlukan agregat berkualitas baik pula. Menurut Tjokrodimuljo (2007), agregat yang baik harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Butirnya tajam dan keras.
- b. Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
- c. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5% untuk agregat halus dan 1% untuk agregat kasar.
- d. Tidak mengandung zat organik dan zat reaktif terhadap alkali.

Dari jenis, agregat dibedakan menjadi dua yaitu agregat alami dan agregat buatan (pecahan). Pada penelitian yang dilaksanakan digunakan dua agregat yaitu agregat halus dan kasar.

- a. Agregat halus. Menurut Tjokrodimuljo (2007), agregat halus (pasir) adalah batuan yang mempunyai ukuran butir antara 0,15 mm–5 mm. Agregat halus dapat diperoleh dari dalam tanah, dasar sungai atau dari tepi laut. Oleh karena itu, pasir dapat digolongkan menjadi 3 macam, yaitu: pasir galian, pasir sungai dan pasir laut. Agregat halus (pasir) menurut gradasinya sebagaimana tercantum pada Tabel 2.2 seperti di bawah ini:

Tabel 2.2 Batas-batas gradasi agregat halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat butir yang lewat ayakan dalam persen			
	Kasar	Agak Kasar	Agak Halus	Halus
10	100	100	100	100
4.8	90-100	90-100	90-100	95-100
2.4	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007

- b. Agregat kasar. Menurut Mulyono (2004), agregat kasar adalah batuan yang mempunyai ukuran butir lebih besar dari 4,80 mm (4,75 mm), sedangkan menurut Tjokrodimuljo (2007) agregat kasar dibedakan menjadi 3 berdasarkan berat jenisnya, yaitu sebagai berikut:

1. Agregat normal

Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antar 2,5–2,7 gram/cm³. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basal, kuarsa dan lain sebagainya. Beton yang dihasilkan mempunyai berat 2,3 gram/cm³ dan biasa disebut beton normal.

2. Agregat berat

Agregat berat adalah agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 gram/cm³, misalnya magnetit (Fe₃O₄), barites (BaSO₄) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis yang tinggi yaitu sampai dengan 5 gram/cm³ yang digunakan sebagai dinding pelindung.

3. Agregat ringan

Agregat ringan adalah agregat yang berat jenisnya kurang dari 2 gram/cm³ misalnya tanah bakar (*bloated clay*), abu terbang (*fly ash*), busa terak tanur tinggi (*foamed blast furnace slag*). Agregat ini biasanya digunakan untuk beton ringan yang biasanya dipakai untuk elemen non-struktural.

2.2.4. Bahan Tambah

Bahan tambah adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan yang ditambahkan kedalam campuran adukan beton selama pengadukan, dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya. Pemberian bahan tambah pada adukan beton bertujuan untuk memperlambat waktu pengikatan, mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah daktilitas (mengurangi sifat getas), mengurangi retak-retak pengerasan, mengurangi panas hidrasi, menambah kekedapan, menambah keawetan (Tjokrodimuljo, 2007).

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi, (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*). Bahan tambah *admixture*

ditambahkan pada saat pengadukan atau pada saat pelaksanaan pengecoran (*placing*), sedangkan bahan tambah *additive* ditambahkan pada saat pengadukan dilaksanakan (Mulyono, 2004).

Bahan tambah kimia biasanya lebih banyak berfungsi untuk mengubah perilaku beton pada saat pelaksanaan pekerjaan karena dapat memperbaiki kinerja pelaksanaan. Sedangkan bahan tambah *additive* merupakan bahan tambah yang lebih banyak bersifat penyemenan, sehingga bahan *additive* lebih banyak digunakan untuk perbaikan kinerja kekuatan.

a. Bahan tambah mineral (*Additive*)

Bahan tambah mineral ini merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton, sehingga bahan tambah mineral cenderung bersifat penyemenan. Bahan tambah mineral terdiri dari beberapa macam (Mulyono, 2004) diantaranya:

1. Abu terbang batu bara (*fly ash*) adalah butiran halus hasil residu pembakaran batu bara atau bubuk batu bara.
2. *Slag* adalah produk non-metal yang merupakan material berbentuk halus, granular hasil pembakaran yang kemudian didinginkan, misalkan dengan mencelupkan kedalam air.
3. *Silica fume* adalah material *pozzoland* yang halus, dimana komposisi *silica* lebih banyak yang dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi *silicon* atau *alloy* besi *silicon* (dikenal sebagai gabungan antara *microsilica* dengan *silica fume*).

4. Penghalus gradasi (*finely divided mineral admixtures*) digunakan untuk memperhalus perbedaan-perbedaan pada campuran beton dengan memberikan ukuran yang tidak ada atau kurang dalam agregat. Contoh bahan ini adalah kapur hidrolis, semen *slag*, *fly ash*, dan *pozzoland* yang sudah menjadi kapur atau mentah.

Keuntungan menggunakan bahan tambah mineral antara lain :

- 1) Memperbaiki kinerja *workability*.
- 2) Mengurangi panas hidrasi.
- 3) Mengurangi biaya pekerjaan beton.
- 4) Mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat.
- 5) Mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika.
- 6) Mempertinggi usia beton.
- 7) Mempertinggi kekuatan beton.
- 8) Mempertinggi keawetan beton.
- 9) Mengurangi penyusutan.
- 10) Mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton.

b. Bahan tambah kimia (*Chemical Admixture*)

Bahan tambah kimia yaitu bahan tambahan pada campuran beton untuk mengubah beberapa sifat beton. Bahan tambah kimia dibedakan menjadi tujuh tipe (Mulyono, 2004):

1) Tipe A (*Water-Reducing Admixtures*)

Water-Reducing Admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

2) Tipe B (*Retarding Admixture*)

Retarding Admixture adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Penggunaannya untuk menghambat pengikatan beton (*setting time*), misalnya karena kondisi cuaca panas dimana tingkat kehilangan sifat pengerjaan beton sangat tinggi.

3) Tipe C (*Accelerating Admixture*)

Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.

4) Tipe D (*Water Reducing and Retarding Admixture*)

Water Reducing and Retarding Admixture adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air yang diperlukan campuran beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

5) Tipe E (*Water Reducing and Accelerating Admixtures*)

Water Reducing and Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

6) Tipe F (*Water Reducing High Range Admixtures*)

Water Reducing High Range Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Pengurangan kadar air dalam bahan ini lebih tinggi, bertujuan agar kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit tetapi tingkat kemudahannya lebih tinggi. Jenis bahan tambah ini adalah *superplasticizer*, dosis yang disarankan adalah sekitar 1%-2% dari berat semen. Dosis yang berlebih akan menyebabkan menurunnya kuat tekan beton.

7) Tipe G (*Water Reducing High Range Retarding Admixtures*)

Water Reducing High Range Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang digunakan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Jenis bahan tambah ini merupakan gabungan *superplasticizer* dengan penunda waktu pengikatan. Digunakan pada kondisi yang sempit karena sedikitnya sumber daya yang mengelola beton yang disebabkan oleh keterbatasan ruang kerja.

2.3. Pasir Kwarsa

Pasir kwarsa adalah bahan galian yang terdiri dari atas Kristal-kristal silika (SiO_2) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. Pasir kwarsa juga dikenal dengan nama pasir putih merupakan hasil

pelapukan batuan yang mengandung mineral utama seperti kwarsa. Hasil pelapukan kemudian tercuci dan terbawa oleh air atau angin yang terendapkan di tepi-tepi sungai, danau atau laut.

Pasir kwarsa mempunyai komposisi gabungan dari SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , dan K_2O . Berwarna putih atau warna lain bergantung pada senyawa pengotornya, berat jenis 2,65, titik lebur $17150\text{ }^\circ\text{C}$.

Dalam kegiatan Industri, penggunaan pasir kwarsa sudah berkembang meluas, baik langsung sebagai bahan baku utama maupun bahan ikutan. Pasir kwarsa sudah banyak dipakai dalam industri konstruksi. Pasir kwarsa digunakan sebagai bahan baku semen. Pasir kwarsa juga sudah banyak digunakan dalam pembuatan beton seperti sebagai pengisi rongga pada campuran beton atau sering kita sebut sebagai *filler*.

2.4. Kaolin dan Metakaolin

Geosintesis bermanifestasi secara alami di bumi dalam kuantitas yang melimpah. Setidaknya 55% dari volume kerak bumi terdiri *silixi-sialate* dan *sialate*, dengan silica murni atau *quartz* hanya 12%. Basis dari proses geosintesis terletak pada kemampuan ion aluminium (*6-fold* atau *4-fold coordination*) menyebabkan perubahan kimia dan kristalografi pada silica *backbone*. *Kaolinite* (bukan kaolin) merupakan mineral tanah liat (*clay*), dengan komposisi kimia $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ yang merupakan mineral silikat lapisan dengan satu tetrahedral yang dihubungkan dengan alumina melalui atom oksigen. Jenis batuan yang kaya akan kaolinit dikenal sebagai *china clay*, *white clay*, atau kaolin.

Kaolin akan mengalami serangkaian transformasi fasa di bawah kondisi perlakuan panas pada tekanan atmosfer. Pada temperature 550-600 °C terjadi dehidroksilasi (atau dehidrasi) yang berlangsung secara endotermik, menghasilkan disordered *metakaolin* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$). Namun jika dipanaskan hingga mencapai temperature 900 °C akan menyebabkan hilangnya hidroksil terus menerus dan oksolasi secara bertahap pada metakaolin. Hal ini membuat metakolin bukan sebagai campuran amorf silica (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) sederhana, namun lebih merupakan struktur amorf kompleks yang dapat mempertahankan *longer-range order* namun bukan kristalin. Berikut adalah reaksi yang terjadi pada temperature 550-800 °C :



Pemanasan hingga mencapai 925-950 °C akan mengubah metakaolin menjadi aluminium-*silicon spinel* ($\text{Al}_3\text{Si}_4\text{O}_{12}$), yang disebut juga sebagai tipe struktur *gamma-alumina* :



Pemanasan di atas temperatur 1050 °C akan menyebabkan fasa spinel ($\text{Si}_3\text{Al}_4\text{O}_{12}$) bernukleasi dan bertransformasi menjadi *mullite* ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), dan *crystalite* kristalin (SiO_2).



Pada temperature 100-200 °C, *clay* akan kehilangan sebagian kandungan besar kandungan airnya. Pada suhu 550-800 °C kaolin akan kehilangan air melalui dehidroksilasi dan disebut terkalsinasi. Proses dehidroksilasi kaolin menjadi metakaolin merupakan reaksi endotermik dikarenakan besarnya jumlah

energi yang dibutuhkan untuk memutuskan ion hidroksil yang berikatan secara kimia. Pada temperatur ini, kaolin menjadi metakaolin yang memiliki struktur kristal *2-dimensional order*. Dehidroksilasi yang sempurna tanpa *over heating* diperlukan agar diperoleh material pozzolan (material suplemen semen). Proses ini akan menciptakan struktur amorf, sementara *over heating* akan menyebabkan *sintering* yang akan menghasilkan *mullite* (nonreaktif) dan *cristalobalite* kristalin (SiO_2). Setiap material memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri. Sebagai contoh, metakaolin sebagai material dasar geopolimer memiliki kelarutan yang baik dalam larutan reaktan, menghasilkan kontrol rasio Si/Al yang baik, dan berwarna putih. Sehingga dengan melihat data di atas dapat disimpulkan kaolin harus dibakar dengan suhu $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ agar menjadi metakaolin.